

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan Tol

Jalan Tol merupakan sebagai bagian sistem jaringan jalan umum lintas alternatif yang penggunaanya diwajibkan membayar tol. Namun dalam keadaan tertentu jalan tol tidak merupakan lintas alternatif (*UU 38/2004 Pasal 44*). Pembangunan jalan tol dilakukan untuk memperlancar lalu lintas di daerah yang telah berkembang, meningkatkan hasil guna dan daya guna pelayanan distribusi barang dan jasa guna menunjang peningkatan pertumbuhan ekonomi, meringankan beban dana pemerintah melalui partisipasi pengguna jalan serta meningkatkan pemerataan hasil pembangunan dan keadilan (*UU 38/2004 Pasal 43 ayat1*).

2.2 Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan merupakan bagian dari jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu-lintas diatasnya ke tanah dasar. Perkerasan jalan menggunakan campuran agregat dan bahan ikat. Agregat yang dipakai adalah batu pecah, batu belah, batu kali atau bahan lainnya, sedangkan bahan ikat yang dipakai adalah aspal, semen ataupun tanah liat.

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

- a. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

- b. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
- c. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

Menurut Suryawan (2009), pemilihan dalam penggunaan jenis perkerasan kaku dibandingkan dengan perkerasan lentur yang sudah lama dikenal dan lebih sering digunakan, berdasarkan keuntungan dan kerugian masing-masing jenis perkerasan tersebut.

Perbedaan antara perkerasan kaku dan lentur dapat dilihat pada **Tabel 2.1**



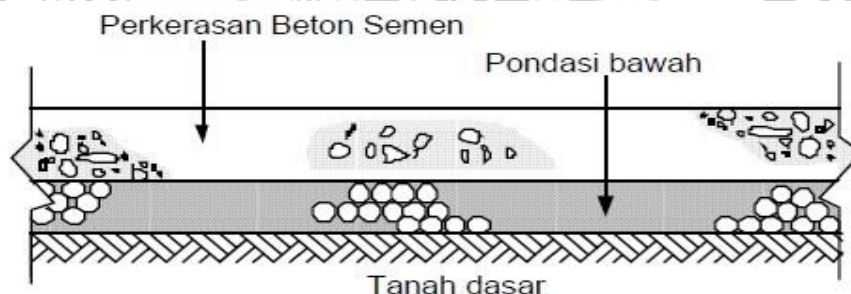
No	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta pada perkerasan lapangan terbang.	Dapat digunakan untuk semua tingkat volume lalu-lintas.
2	Job Mix lebih mudah dikendalikan kualitasnya. Modulus elastisitas antara lapis permukaan dan pondasi sangat berbeda.	Kendali kualitas untuk Job Mix lebih rumit.
3	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk.	Sulit untuk bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk.
4	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.	Umur rencana relatif pendek 5-10
5	Jika terjadi kerusakan maka kerusakan tersebut cepat dan dalam waktu singkat.	Kerusakan tidak merambat ke bagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan terendam air.
6	Indeks pelayanan tetap baik hampir selama umur rencana, terutama jika <i>transverse joints</i> dikerjakan dan dipelihara dengan baik.	Indeks pelayanan yang terbaik hanya pada saat selesai pelaksanaan konstruksi, setelah itu seiring dengan waktu dan frekuensi beban lalu-lintasnya.
7	Pada umumnya biaya awal konstruksi tinggi. Tetapi biaya awal hampir sama untuk jenis konstruksi jalan berkualitas tinggi dan tidak tertutup kemungkinan bisa lebih rendah.	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah, terutama untuk jalan lokal dengan volume lalu-lintas rendah.
8	Biaya pemeliharaan relatif tidak ada.	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan mencapai lebih kurang dua kali lebih besar dari perkerasan kaku.
9	Agak sulit untuk menetapkan saat yang tepat untuk melakukan pelapisan ulang.	Pelapisan ulang dapat dilaksanakan pada semua tingkat ketebalan perkerasan yang diperlukan, dan lebih mudah menentukan
10	Kekuatan konstruksi perkerasan kaku lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton sendiri	Kekuatan konstruksi perkerasan lentur ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan daya dukung tanah dasar.
11	Tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal pelat beton tidak termasuk pondasi.	Tebal konstruksi perkerasan lentur adalah tebal seluruh lapisan yang ada diatas

(Sumber : Suryawan, 2009)

2.3 Pengertian Perkerasan Kaku

Menurut Suryawan (2009), perkerasan jalan beton semen atau perkerasan kaku adalah suatu konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan ikatnya. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari lapisan-lapisan tebal pondasi bawah, pondasi dan lapisan permukaan.

Perkerasan beton semen memiliki struktur yang terdiri dari atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Tipikal struktur perkerasan beton semen

(Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

Perkerasan beton semen dibedakan ke dalam 4 jenis:

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (*Jointed Unreinforced Concrete Pavement*) adalah jenis perkerasan beton semen yang dibuat tanpa tulangan dengan ukuran pelat mendekati bujur sangkar, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar 4-5 meter.
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*) adalah jenis perkerasan beton semen yang dibuat dengan tulangan ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar 8-15 meter.
- c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*) adalah jenis perkerasan beton semen yang dibuat dengan tulangan dengan panjang pelat menerus yang hanya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan muai melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini lebih besar dari 75 meter.
- d. Perkerasan beton semen pra-tegang (*Prestressed Concrete Pavement*) adalah jenis perkerasan beton semen menerus tanpa tulangan yang menggunakan kabel-kabel pratekan guna mengurangi pengaruh susut, muai, dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembaban.

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan, dan perubahan kadar air selama masa pelayanan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003).

2.4 Komponen Konstruksi Perkerasan Kaku

Struktur Jalan Kaku (Rigid Pavement) disebut juga Perkerasan Jalan Beton Semen. Dapat dilaksanakan pada kondisi daya dukung tanah dasar yang kurang baik (kecil, misal berkisar mulai 2%), atau beban lalu lintas yang harus dilayani relatif besar maka dibuat solusi dengan konstruksi perkerasan kaku (Rigid Pavement) atau disebut juga perkerasan beton semen, karena bahan dasar terbuat dari beton semen.

Struktur perkerasan kaku terdiri atas pelat beton yang diletakkan pada lapis pondasi bawah yang menumpu pada tanah dasar, dengan atau tanpa lapis permukaan beraspal di atasnya.

Menurut Saodang (2005) perkerasan beton semen dibedakan ke dalam lima jenis yaitu:

1. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan = BBTT (JUCP= Jointed Unreinforced Concrete Pavement)
2. Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan = BBDT (JRCP= Jointed Reinforced Concrete Pavement)
3. Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan = BMDT (CRCP= Continuous Reinforced Concrete Pavement)
4. Perkerasan Beton Semen Pra-Tekan (PRCP= Prestress Reinforced Concrete Pavement)
5. Perkerasan Beton Semen Fibre (FRCP= Fibre Reinforced Concrete Pavement)

Menurut Saodang (2005), adapun komponen konstruksi perkerasan beton semen (*rigid pavement*) adalah sebagai berikut:

2.4.1 Elemen Tanah Dasar

Dalam struktur perkerasan beton semen, tanah dasar hanya dipengaruhi tegangan akibat beban lalu – lintas dalam jumlah relatif kecil, akan tetapi , daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan kaku.

Untuk memperoleh daya dukung dan keseragaman maka dalam pelaksanaan kontruksi perlu diperhatikan faktor –faktor : Kadar air pemadatan (harus pada kondisi kadar air optimum), kepadatan dan perubahan kadar air pada masa pelayanan.

Daya dukung tanah dasar pada kontruksi perkerasan beton semen, ditentukan berdasarkan nilai CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03 – 1744 – 1989. Dapat juga berdasarkan modulus *subgrade reaction* (k). Bila dibandingkan fungsi tanah dasar pada perkerasan lentur, secara relatif fungsi tanah dasar pada perkerasan kaku tidak terlalu menentukan, dalam arti kata bahwa perubahan besarnya daya dukung tanah dasar tidak berpengaruh besar pada tebalnya pelat beton

2.4.2 Elemen Lapis Pondasi Bawah

Hanya ada satu lapis pondasi, yaitu lapis pondasi bawah, karenanya dapat juga langsung disebut sebagai lapis pondasi. Pada umumnya fungsi lapis pondasi bawah (sub-base) untuk struktur perkerasan kaku, tidak berfungsi terlalu struktural, dalam arti kata keberadaannya tidak untuk menyumbangkan nilai struktur terhadap tebal pelat beton. Permukaan sub-base yang tidak rata, akan menyebabkan ketidakrataan pelat beton, yang dapat memicu timbulnya keretakan pelat.

2.4.3 Elemen Pelat Beton

Pelat beton terbuat dari beton semen yang mempunyai mutu tinggi, yang dicor setempat diatas pondasi bawah. Elemen pelat beton terbuat dari bahan yang bisa dipergunakan untuk kontruksi beton, seperti: semen, air, agregat, campuran beton, batang tulangan, bahan pelindung. Jenis dari bahan pelindung itu sendiri terdiri dari: Joint Sealant, Curing Compoun, Epoxy

- Nilai Kuat Tarik Lentur

Nilai kuat tarik lentur didapat dari hasil pengujian balok 15x15x75cm dengan uji pembebanan tiga titik (*third point loading*)- ASTM C 78 atau AASHTO T-97-76 Kuat tarik lentur pada umur 28 hari tipikal sebesar 3-5 Mpa ($30 - 50 \text{ Kg/Cm}^2$), tanpa bahan tambahan. Dengan bahan tambahan sebagai penguat seperti serat baja (*steel fibre*), aramit atau serat karbon, kuat tarik lentur harus mencapai 5-5,5 Mpa ($50 - 55 \text{ kg/cm}^2$). Beton yang diperkuat dengan serat baja disamping meningkatkan kuat tarik lenturnya juga untuk mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk yang tidak lazim, misalnya jalan sekitar plaza tol, putaran dan pemberhentian bus dll. Panjang serat baja antara 15mm s/d 50mm yang pada bagian ujungnya melebar sebagai anker dan atau sekrup penguat untuk meningkatkan ikatan. Secara tipikal, serat baja dengan panjang 15 – 50mm dapat ditambahkan ke dalam adukan beton masing-masing sebanyak 75 – 45 kg/m³. Semen yang dipilih disesuaikan dengan lingkungan dimana perkerasan akan dilaksanakan.

- Slump Beton

Parameter slump beton merupakan indikator dari keenceran beton. Secara tinjauan pelaksanaan angka slump menunjukkan kemudahan pengerjaan. Makin encer beton makin mudah untuk dikerjakan, tapi kental encernya campuran mempunyai batasan tertentu, sesuai dengan tipe kontruksi. Terlalu kental beton akan mengalami getas (*brittle*) mudah hancur, terlalu encer pun beton akan mudah

mengalir dan mempunyai kekuatan yang rendah. Umumnya variasi nilai slump adalah 2,5 – 10 cm.

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai slump adalah:

- Kesulitan pencapaian akibat rumitnya tulangan.
- Jarak waktu angkat dari *plant* ke lokasi kerja.
- Apakah diperlukan *concrete pump*
- Apakah digunakan bahan additive
- Jenis peralatan

Nilai slump beton untuk perkerasan ditetapkan sebesar *minimum* 2,5 cm dan *maksimum* 5 cm. Perhatikan terutama jarak tempuh, katakan jarak tempuh 1 jam bisa mengakibatkan penurunan tinggi slump $\pm 2,5$ cm, atau jarak tempuh 10 menit bisa menurunkan tinggi slump $\pm 0,5$ cm.

- Tulangan pada Perkerasan Beton Semen

Penulangan pada perkerasan beton semen mempunyai tujuan utama, di antara lain adalah:

- Mengendalikan lebar retakan, agar kekuatan pelat sesuai rencana.
- Memungkinkan bertambah panjangnya pelat, yang berarti mengurangi sambungan melintang, jadi meningkatkan kenyamanan pengendara.
- Mengurangi biaya pemeliharaan

Secara fisik ada dua jenis tulangan yaitu *Tulangan Pada Pelat Beton* untuk memperkuat pelat, dan *Tulangan Sambungan* untuk menyambung bagian-bagian pelat yang sengaja diputus. Kedua jenis tulangan tersebut mempunyai bentuk, posisi, dan fungsi yang berbeda.

a. *Tulangan Pelat* pada perkerasan beton semen disusun dengan:

- Bentuk tulangan umumnya berupa lembaran kisi (*febricated*) khususnya tipe BBDT. Bila menginginkan kemudahan pekerjaan

jenis lembaran lebih baik dari pada gulungan, karena akibat gulungan banyak bagian tulangan yang tidak rata lagi.

- Lokasi penulangan pelat beton terletak $\pm \frac{1}{4}$ tebal pelat disebelah atas.
- Fungsi tulangan pelat adalah mengikat beton agar tidak retak, bukan menahan momen atau gaya lintang.
- Fungsi tulangan bukan sebagai fungsi struktural, sehingga pemasangannya tidak mengurangi tebal beton

b. *Tulangan Sambungan* pada perkerasan beton semen dikenal dua jenis tulangan yaitu:

- Tulangan Sambungan Melintang
Tulangan sambungan Melintang disebut *ruji (dowel)*, yang berfungsi sebagai pengendali dari pergeseran (*sliding devices*) dan pembagi beban (*load transfer device*). Biasanya berbentuk polos dan berdiameter relatif besar. Posisi penempatan adalah ditengah-tengah tebal pelat dan sejajar dengan sumbu jalan. Tulangan pada salah satu sisi melekat pada pelat beton dan pada sisi yang lain lepas / terbebas dari ikatan pelat.
- Tulangan Sambungan Memanjang
Tulangan Sambungan Memanjang disebut *tie bar*, berfungsi sebagai *unsliding devices* dan *rotational devices*, biasa berupa tulangan ulir (*deformed bar*) dan berdiameter kecil. Dipasang dengan kedua ujung tulangan melekat dengan pelat (*bound*) ditengah-tengah tebal pelat beton, tapi tegak lurus dengan sumbu jalan.

2.4.4 Sambungan (*Joint*)

Sambungan melintang berfungsi untuk mengakomodir gerakan kembang susut, sedangkan sambungan memanjang berfungsi untuk mengakomodir

gerakan melenting dari pelat beton, akibat perubahan temperatur terutama pada waktu siang dan malam hari.

Fungsi lain dari sambungan adalah mengendalikan atau lebih tepat dikatakan mengarahkan retak pelat beton akibat susut beton (*sbrinkage*) maupun melenting (*wrapping*) agar mengikuti bentuk maupun lokasi yang dikehendaki sesuai dengan rancangan. Dengan pengendalian keretakan tersebut diharapkan retak akan terjadi pada lokasi yang teratur dan sudah disediakan yaitu pada posisi tulangan sambungan.

- *Sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie bars)*

Fungsi pemasangan memanjang adalah untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang, jarak antara sambungan memanjang 3-4 meter.

Sambungan memanjang harus disertai tulangan dengan jenis batang ulir dengan mutu minimum BJTU 24 dan berdiameter 16 mm

- *Sambungan pelaksanaan memanjang*

Sambungan pelaksanaan memanjang pada umumnya dengan menggunakan gigi penguncian. Bentuk dan ukuran gigi pengunci dapat berbentuk trapesium atau berbentuk setengah lingkaran.

- *Sambungan susut memanjang*

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu cara dari dua metode berikut, yaitu dengan melakukan penggergajian (*saw cut*) atau membentuk celah pada saat beton masih dalam kondisi plastis, dengan keadaan 1/3 dari tebal pelat.

- *Sambungan susut dan dan sambungan pelaksanaan melintang*

Ujung sambungan ini harus tegak lurus dengan sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk maksud mengurangi beban dinamis akibat lalu lintas, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1 : 10 searah perputaran jarum jam.

- *Sambungan susut melintang*

Kedalaman sambungan ini paling tidak mencapai $\frac{1}{4}$ dari tebal pelat (pondasi bawah jenis *gramular*) atau $\frac{1}{3}$ dari tebal pelat (pondasi bawah jenis stabilisasi semen). Jarak sambungan susut melintang untuk tipe perkerasan BBTT sekitar 4-5 meter, sedang untuk perkerasan BBDT sejarak 8-15 meter. Untuk tipe BMDT sesuai dengan kemampuan pelaksanaan. Sambungan ini harus dilengkapi dengan batang ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut.

- *Sambungan pelaksanaan melintang*

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak dirancang sebelumnya, misalnya akibat kerusakan alat dll, harus menggunakan batang pengikat berulir. Sedang pada sambungan yang memang dirancang sebelumnya dapat menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah-tengah pelat. Sambungan pelaksanaan tersebut diatas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm, dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk tebal pelat > 17 cm ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm, dan jarak 60 cm.

- *Sambungan isolasi*

Sambungan isolasi adalah sambungan yang memisahkan perkerasan dengan struktur lain misalnya *manhole* dari drainase, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dll. Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealant*) setebal 5-7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*).

2.5 Perencanaan Perkerasan *Rigid pavement*

Hendarsin (2000: 210) berbagai pertimbangan yang diperlukan dalam perencanaan tebal perkerasan antara lain meliputi:

2.5.1 Pertimbangan konstruksi dan pemeliharaan

Konstruksi dan pemeliharaannya kelak setelah digunakan, harus dijadikan pertimbangan dalam merencanakan tebal perkerasan. Faktor yang perlu dipertimbangkan, ialah:

- Perluasan dan jenis drainase
- Penggunaan konstruksi berkotak-kotak
- Ketersediaan peralatan
- Penggunaan Konstruksi Bertahap
- Penggunaan Stabilitas
- Kebutuhan dari segi lingkungan dan keamanan pemakai
- Pertimbangan Sosial dan Strategi pemeliharaan
- Resiko-resiko yang mungkin terjadi

2.5.2 Evaluasi lapisan tanah dasar

Daya dukung lapisan tanah dasar ialah hal yang sangat penting dalam merencanakan tebal lapisan perkerasan, jadi tujuan evaluasi lapisan tanah dasar ini untuk mengestimasi nilai daya dukung subgrade yang akan digunakan dalam perencanaan

1. Faktor pertimbangan untuk estimasi daya dukung

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam mengestimasi nilai kekuatan dan kekakuan lapisan tanah dasar.

- Urutan pekerjaan tanah
- Penggunaan kadar air (w) pada saat pemadatan (kompaksi) dan kepadatan lapangan (γ_d) yang dicapai
- Perubahan kadar air selama usia pelayanan
- Variabilitas Tanah Dasar
- Ketebalan lapisan perkerasan total yang dapat diterima lapisan lunak yang ada di bawah lapisan tanah dasar

2. Pengukuran daya dukung subgrade

Pengukuran daya dukung subgrade (lapisan tanah dasar) yang digunakan, dilakukan dengan cara :

- California Bearing Ratio
- Parameter Elastis
- Modulus Reaksi Tanah Dasar (k)

2.5.3 Pertimbangan lingkungan

Faktor yang paling dominan berpengaruh dalam perkerasan ialah kelembaban. Kelembaban secara umum berpengaruh pada penampilan perkerasan, sedangkan kekakuan/kekuatan material yang lepas dan tanah dasar, tergantung dari kadar air material.

2.5.4 Material perkerasan

Material perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori sehubungan dengan sifat dasarnya,, akibat beban lalu lintas, ialah:

- Material berbutir lepas
- Material terikat
- Aspal
- Beton semen

2.5.5 Lalu lintas rencana

Kondisi lalu lintas yang akan menentukan pelayanan ialah :

- Jumlah sumbu yang lewat
- Beban sumbu
- Konfigurasi sumbu

Untuk semua jenis perkerasan, penampilan dipengaruhi paling utama oleh kendaraan berat.

2.6 Perencanaan Tebal Perkerasan *Rigid pavement*

2.6.1 Perencanaan Tebal Perkerasan *Rigid pavement* Metode Bina Marga 2003

Perencanaan perkerasan *rigid pavement* dengan metode Bina Marga 2003 (Pd-T-14-2003) atau Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen merupakan pedoman perencanaan perkerasan *rigid pavement* yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum. Pedoman ini merupakan penyempurnaan Petunjuk Perencanaan Perkerasan *Rigid pavement* tahun 1985 – SKBI 2.3.28.1985. Pedoman ini diadopsi dari *AUSTROADS, Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements* (1992). Parameter perencanaan perkerasan *rigid pavement* Metode Bina Marga 2003 diuraikan sebagai berikut:

2.6.1.1 Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar diperoleh dengan melakukan pengujian CBR tanah insitu sesuai dengan SNI 03-173101989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing digunakan dalam perencanaan untuk tebal perkerasan lama maupun perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar memiliki nilai CBR lebih rendah dari 2%, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) dengan ketebalan 15 cm yang dianggap memiliki nilai CBR tanah dasar efektif 5%.

2.6.1.2 Pondasi Bawah

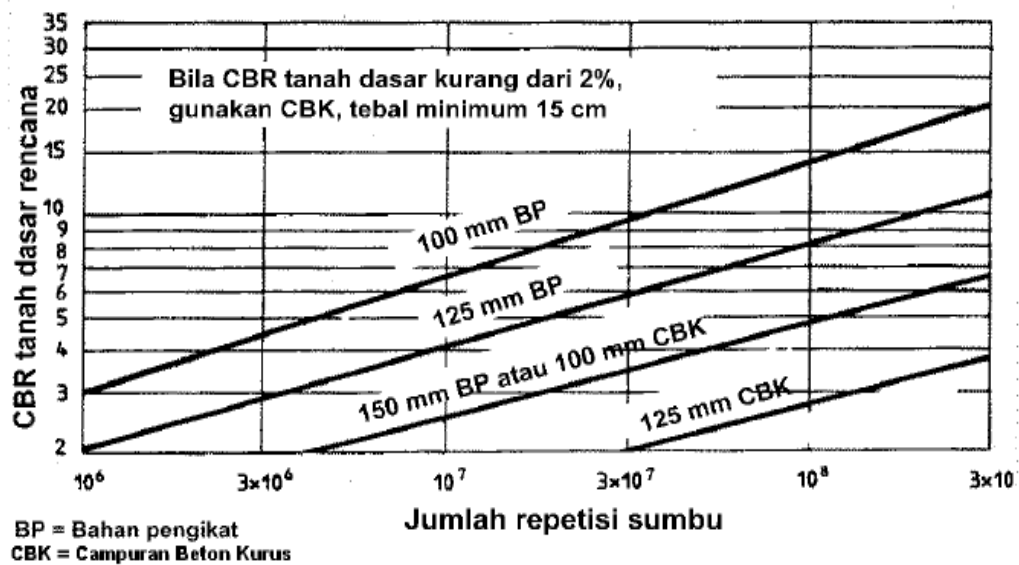
Bahan pondasi bawah dapat berupa :

- a. Bahan berbutir.
- b. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*).
- c. Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai dengan 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhatikan tegangan pengembangan yang mungkin akan terjadi. Pemasangan lapis pondasi

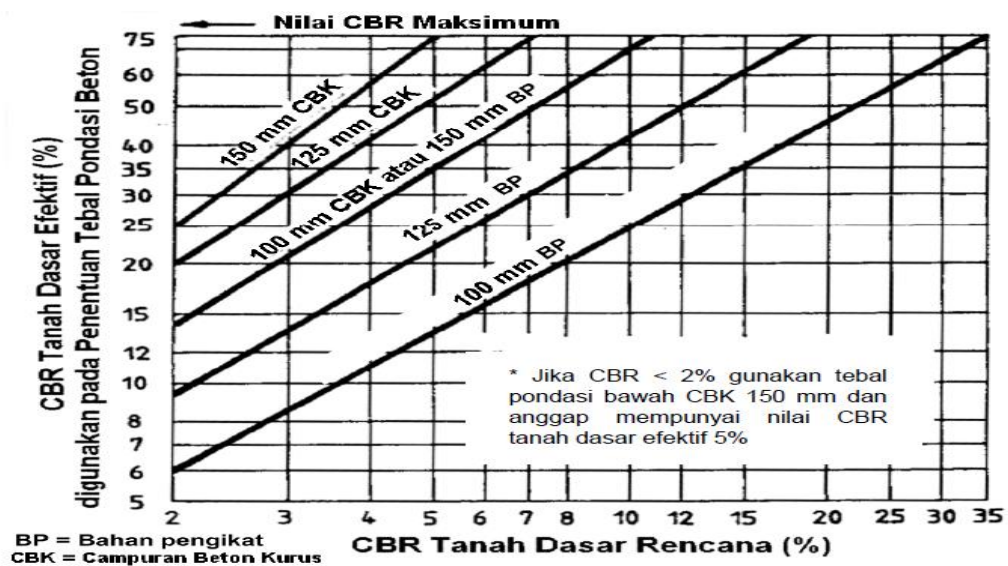
dengan lebar sampai ke tepian luar lebar jalan, merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif.

Tebal lapis pondasi minimal 10 cm yang paling sedikit memiliki mutu sesuai yang dengan SNI No. 03 – 6388 - 2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03 – 1743 - 1989 . Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kurus (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada **Gambar 2.4** dan CBR tanah dasar efektif didapat dari **Gambar 2.5**



Gambar 2.2 Tebal pondasi bawah minimal untuk perkerasan beton semen

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)



Gambar 2.3 CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.6.1.3 Beton Semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon harus mencapai kuat tarik lentur 5 – 5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) mendekati atau terdekati.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat dicari dengan rumus berikut :

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam Mpa atau } \dots\dots\dots (1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan definisi sebagai berikut :

$$f_c' = \text{kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm}^2 \text{)}$$

K = konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 agregat pecah.

f_{cf} = kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm^2)

Kuat tarik lentur dapat juga diperoleh dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan SNI 03-2491-1991 sebagai berikut :

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam Mpa atau} \dots\dots\dots (3)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam } \text{kg/cm}^2 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan definisi sebagai berikut :

F_{cs} = kuat tarik belah beton 28 hari



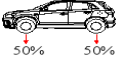
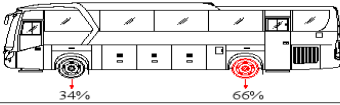



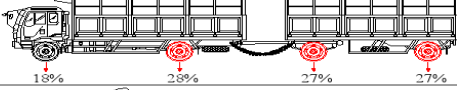
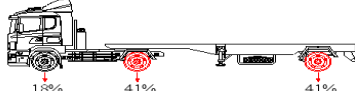
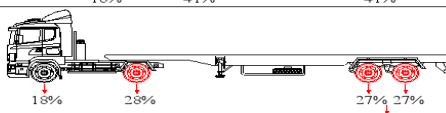
(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.6.1.4 Lalu-lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana dalam perkerasan beton semen, dapat dinyatakan dalam bentuk sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), layak halnya dengan konfigurasi sumbu kendaraan pada lajur rencana selama umur rencana.

Melakukan analisa lalu-lintas harus berdasarkan hasil dari pada perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu kendaraan. Adapun jenis-jenis dari kendaraan yang akan ditinjau pada perencanaan perkerasan beton semen ialah jenis kendaraan niaga (*commercial vehicle*) yang memiliki berat total minimal 5 ton. Konfigurasi daripada sumbu kendaraan untuk perencanaan terdiri dari atas empat jenis kelompok sumbu yang dapat dilihat pada **Gambar 2.6** sebagai berikut :

- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).
- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).

KONFIGURASI BEBAN SUMBU						
KONFIGURASI SUMBU DAN TPE	BERAT KOSONG (TON)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (TON)	BERAT TOTAL MAKSIMUM (TON)	UE 18 KSAI KOSONG	UE 18 KSAI MAKSIMUM	 Roda Tunggal pada Ujung Sumbu  Roda Ganda pada Ujung Sumbu
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2 + 2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

Gambar 2.4 Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan

(Sumber: Ari Suryawan, 2009)

2.6.1.5 Lajur Rencana dan Koefisien Distribusi

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat diperoleh dari lebar perkerasan sesuai **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar Perkerasan	Jumlah Lajur	Koefisien Distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,7	0,5
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,5	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00 \text{ m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75 \text{ m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00 \text{ m}$	6 lajur	-	0,4

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.6.1.6 Umur rencana

Pada umumnya perkerasan beton semen direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai dengan 40 tahun.

2.6.1.7 Pertumbuhan lalu-lintas

Besar dari volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan berapa umur rencana atau sampai tahap dimana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat diperoleh berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$R = (1 + i)^{UR} - 1/i \dots\dots\dots (5)$$

Dengan definisi :

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %

UR = Umur rencana (tahun)

Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) dapat juga diperoleh berdasarkan **Tabel**

Tabel 2.3 Faktor pertumbuhan lalu- lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95,8	154,1	259,1	442,6

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.6.1.8 Lalu-lintas rencana

Lalu-lintas rencana ialah hasil kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana yang direncanakan, seperti proporsi sumbu dan juga distribusi beban yang diterima pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dapat dikelompokkan dalam interval 10 KN (1 ton), apabila diambil dari survei beban kendaraan. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut:

$$JSKN = JSKN \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots(6)$$

Dengan definisi sebagai berikut :

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

C : Koefisien distribusi kendaraan

R : Faktor pertumbuhan kumulatif yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

2.6.1.9 Faktor keamanan beban

Dalam penentuan beban rencana, beban sumbu kendaraan dikalikan dengan faktor keamanan beban (F_{KB}). Faktor keamanan beban digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Faktor keamanan beban (F_{KB})

No.	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survey beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah	1,0

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.6.1.10 Bahu Jalan

Bahu jalan dapat dibangun menggunakan bahan lapisan bawah dengan atau tanpa penutup beraspal atau lapisan beton semen. Perbedaan kekuatan antara bahu dan jalur lalu lintas akan berdampak pada kinerja perkerasan. Ini dapat diatasi dengan bahu beton semen, sehingga akan meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi ketebalan pelat.

Maksud daripada bahu beton semen dalam pedoman ini ialah bahu yang dikunci dan diikat dengan laajur lalu lintas dengan lebar minimal 1,50 m atau

bahu yang disatukan dengan lajur lalu lintas selebar 0,60 m, yang juga dapat mencakup saluran dan kereb.

2.6.1.11 Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen memiliki macam macam jenis sambungan seperti:

- Sambungan memanjang
- Sambungan melintang
- Sambungan isolasi

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*).

a) Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*)

Pemasangan sambungan longitudinal (memanjang) dimaksudkan untuk mengendalikan terjadinya retak longitudinal. Jarak antar sambungan memanjang 3-4 m. Sambungan longitudinal harus dilengkapi dengan batang berulir dengan kualitas minimal BJTU-24 dan memiliki diameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h \text{ dan}$$

$$I = (38,3 \times \phi) + 75$$

Dengan definisi sebagai berikut :

$$A_t = \text{Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm}^2\text{)}$$

h = Tebal pelat (m)

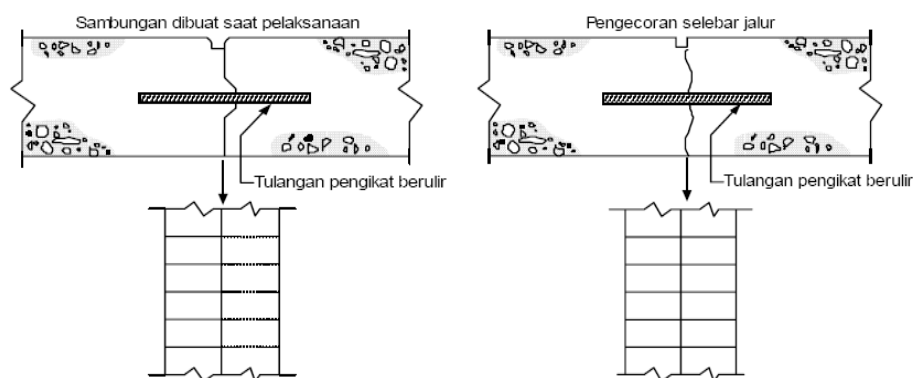
I = Panjang pengikat batang pengikat (mm)

\emptyset = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm)

b = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m)

Jarak batang pengikat yang dipergunakan ialah 75 cm

Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Tipikal sambungan memanjang

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

b) **Sambungan susut melintang**

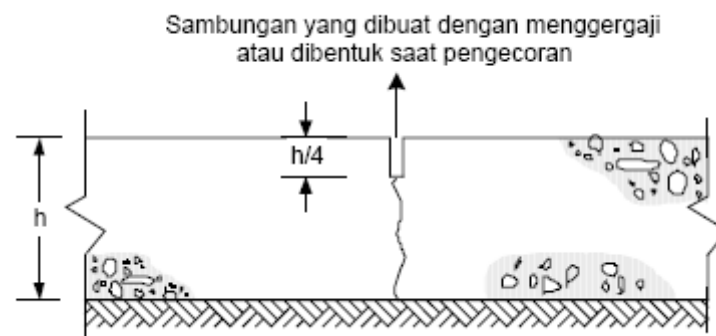
Kedalaman sambungan biasanya kurang lebih mencapai $\frac{1}{4}$ (seperempat) dari tebal pelat ($\frac{1}{4} H$) untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat ($\frac{1}{3} H$) untuk lapis pondasi stabilisasi semen yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7**.

Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa menggunakan tulangan berjatak 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan menggunakan tulangan 8 - 15 m, dan untuk

sambungan perkerasan beton menerus dengan menggunakan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaanya.

Sambungan dengan tipe seperti ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm dengan jarak antara ruji 30 cm, posisi lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang bisa jadi berpengaruh terhadap gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut.

Setengah dari panjang ruji polos harus dicat terlebih dahulu atau dilumuri menggunakan bahan anti lengket seperti *oil* untuk menjamin agar tidak ada ikatan dengan beton tersebut. Diameter ruji yang akan digunakan tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada **Tabel 2.5**.



Gambar 2.6 Sambungan susut melintang tanpa ruji

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)



Gambar 2.7 Sambungan susut melintang dengan ruji

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

Tabel 2.5 Diameter Ruji Bina Marga 2003

Tebal Plat Perkerasan		Dowel					
		Diameter		Panjang		Jarak	
Inch	Mm	Inch	Mm	inch	Mm	Inch	Mm
6	150	$\frac{3}{4}$	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	$1\frac{1}{4}$	32	18	450	12	300
10	250	$1\frac{1}{4}$	32	18	450	12	300
11	275	$1\frac{1}{4}$	32	18	450	12	300
12	300	$1\frac{1}{2}$	38	18	450	12	300
13	325	$1\frac{1}{2}$	38	18	450	12	300
14	350	$1\frac{1}{2}$	38	18	450	12	300

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

2.7 Prosedur Perencanaan Perkerasan *Rigid pavement*

Tata cara perencanaan perkerasan *rigid pavement* didasarkan pada 2 (dua) model kerusakan ialah seperti:

- Retak fatik (lelah) tarik lentur pada pelat.
- Erosi yang terjadi pada pondasi bawah atau tanah dasar yang diakibatkan oleh lendutan berulang pada sambungan juga tempat retak yang direncanakan.

Tata cara ini mempertimbangkan pada ada tidaknya ruji pada sambungan atau bahu beton. Perkerasan beton semen menerus dengan menggunakan tulangan dianggap sebagai perkerasan bersambung yang dipasang ruji.

Data lalu lintas yang diperlukan ialah jenis sumbu kendaraan dan distribusi beban serta jumlah repetisi pada masing-masing jenis sumbu atau kombinasi beban yang estimasi selama umur rencana.

Tebal dari pelat tafsiran dipilih dan total fatik serta kerusakan erosi dihitung didasarkan pada komposisi lalu lintas selama umur rencana. Jika kerusakan fatik atau erosi lebih dari 100%, maka tebal tafsiran bisa dinaikkan dan

proses perencanaan diulangi kembali. Tebal rencana ialah tebal tafsiran yang paling kecil yang memiliki total fatik dan atau total kerusakan erosi lebih kecil sama dengan 100%.

2.7.1 Perencanaan Tebal Perkerasan *Rigid pavement* Metode *American Association of State Highway Transportation Officials* atau AASHTO 1993

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) *Guide For Design of Pavement Structures 1993* atau yang lebih dikenal dengan istilah AASHTO 1993. AASHTO 1993 merupakan salah satu metode perencanaan perkerasan *rigid pavement* yang umum digunakan.

Parameter perencanaan perkerasan *rigid pavement* Metode AASHTO 1993 terdiri dari :

- a) Analisa lalu lintas : mencakup umur rencana, lalu-lintas rata-rata, pertumbuhan lalu lintas tahunan, *vehicle damage factor*, *equivalent single axle load*
- b) *Reability*.
- c) *Terminal serviceability index*.
- d) *Initial serviceability*.
- e) Standar normal deviasi.
- f) Standar deviasi.
- g) CBR dan Modulus Reaksi tanah dasar.
- h) Modulus elastisitas beton.
- i) *Flexural strength*.
- j) *Drainage coefficient*.
- k) *Load transfer coefficient*.

2.7.1.1 Analisa Lalu-lintas (*Traffic Design*)

a) Umur rencana

Pada umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai dengan (UR) 40 tahun. (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003).

AASHTO 1993, Faktor Distribusi Arah, $D_A = 0,3 - 0,7$ pada umumnya diambil nilai 0,5. Untuk menentukan Faktor Distribusi Lajur (D_L), yang didasarkan pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah Lajur Tiap Arah	D_L (%)
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

(Sumber : AASHTO 1993)

Suryawan (2009:27) Perhitungan lalu-lintas berdasarkan nilai ESAL (*Equivalent Single Axle Load*) selama umur rencana (*traffic design*).

Dengan rumus umum:

$$W_{18} = \sum_{N1}^{Nn} LHR_j \times VDF_j \times D_D \times D_L \times 365$$

Dengan definisi:

W_{18} = *Traffic design* pada lajur lalu-lintas, ESAL

LHR_j = Jumlah lalu-lintas harian rata-rata 2 arah untuk jenis kendaraan j.

VDF_j = *Vehicle Damage Factor* untuk jenis kendaraan j.

$N1$ = Lalu-lintas pada tahun pertama jalan dibuka.

Nn = Lalu-lintas pada akhir umur rencana.

D_D = Faktor distribusi arah.

D_L = Faktor distribusi lajur.

Lalu-lintas yang digunakan untuk merencanakan tebal perkerasan *rigid pavement* ialah lalu-lintas kumulatif selama umur rencana. Besaran ini diperoleh dengan mengalikan beban gandar standar kumulatif pada jalur rencana selama setahun (W_{18}) dengan besaran kenaikan lalu-lintas (*traffic growth*).

Lalu-lintas kumulatif dirumuskan sebagai berikut:

$$W_t = W_{18} \times \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

Dengan definisi sebagai berikut:

- W_t = Jumlah beban gandar tunggal standar kumulatif.
- W_{18} = Beban gandar standar kumulatif selama 1 tahun.
- g = Perkembangan lalu-lintas (%).
- n = Umur pelayanan, atau umur rencana UR (tahun).

b) Tanah Dasar

Suryawan (2009:28) Dalam merencanakan perkerasan *rigid pavement* CBR (*California Bearing Ratio*) digunakan untuk penentuan nilai dari parameter modulus reaksi tanah dasar (k).

CBR yang umum digunakan di Indonesia berdasar besaran ialah 6% untuk lapis tanah dasar, mengacu pada spesifikasi (versi Departemen Pekerjaan Umum 2005 dan versi Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta 2004).

Akan tetapi tanah dasar dengan nilai CBR 5% dan atau 4% pun dapat digunakan namun setelah melalui geoteknik, dengan CBR kurang 6% ini jika digunakan sebagai dasar perencanaan tebal perkerasan.

Suryawan (2009:28) Material perkerasan yang digunakan dengan parameter yang terkait dalam perencanaan tebal perkerasan sebagai berikut :

1. Pelat beton

- *Flexural strength* (S_c') = 45 kg/cm²
- Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) : F_c' = 350 kg/cm² (disarankan)

2. *Wet lean concrete*

- Kuat tekan (benda uji silinder 15 x 30 cm) : $F_c' = 105 \text{ kg/cm}^2$

S_c' yang digunakan untuk penentuan Flexural strength, F_c digunakan untuk penentuan parameter modulus elastisitas beton (E_c).

c) *Reliability*

Suryawan (2009: 28) *Reliability* ialah probabilitas atau perbandingan bahwa perkerasan yang direncanakan akan tetap memuaskan selama masa layanan. Penetapan angka *reliability* dari 50% sampai 99,99% AASHTO merupakan tingkat kehandalan desain untuk mengatasi, mengakomodasi kemungkinan melesetnya besaran-besaran desain yang dipakai. Semakin tinggi *reliability* yang dipakai semakin tinggi tingkat mengatasi kemungkinan terjadinya selisih (deviasi) desain. Besaran desain yang berkaitan dengan ini seperti:

- Perkiraan tekanan gandar.
- Peramalan kinerja perkerasan
- Pelaksanaan konstruksi.
- Peramalan lalu-lintas.

Mengacu dari keempat faktor di atas, maka penetapan besaran dalam desain sebetulnya telah menekan sekecil mungkin penyimpangan yang mungkin akan terjadi. Akan tetapi tidak ada suatu jaminan berapa besar dari keempat faktor tersebut menyimpang. Penetapan *Reliability* mengacu pada **Tabel 2.7** Standar normal deviasi (Z_R) yang mengacu pada **Tabel 2.8**. Sedangkan *standar deviation rigid pavement* sebesar $S_o = 0,30 - 0,40$.

Tabel 2.7 *Reliability (R)* disarankan

Klasifikasi Jalan	Reliability (R)	
	Urban	Rural
Jalan tol	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri	80 – 99	75 – 95
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

(Sumber: AASHTO 1993)

Tabel 2.8 *Standar normal deviation (Z_R)*

R (%)	Z _R	R (%)	Z _R
50	0,000	93	1,476
60	0,253	94	1,555
70	0,524	95	1,645
75	0,674	96	1,751
80	0,841	97	1,881
85	1,037	98	2,054
90	1,282	99	2,327
91	1,340	99,9	3,090
92	1,405	99,99	3,750

(Sumber: AASHTO 1993)

Penetapan dari konsep *Reliability* dan Standar Deviasi:

Parameter *reliability* dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

- Berdasarkan parameter klasifikasi kegunaan jalan
- Berdasarkan status lokasi jalan urban / rural
- Penetapan standar normal deviation (Z_R)
- Penetapan standar deviasi (S_o)
- Penetapan tingkat *reliability* (R)

- Keandalan data lalu-lintas dan beban kendaraan.

d) **Serviceability**

Suryawan (2009: 31) **Terminal serviceability index** (p_t) mengacu pada **Tabel 2.9** dan **Initial serviceability** untuk *rigid pavement* : (p_o) = 4,5 (AASHTO,1993).

Tabel 2.9 *Terminal Serviceability Index*

Presentasi Publik Tidak Menerima	P_t
12	3,0
55	2,5
85	2,0

(Sumber : AASHTO 1993)

Penetapan parameter *Serviceability*:

- *Initial Serviceability* : $p_o = 4,5$
- *Terminal Serviceability index* : $p_t = 2,5$
jalur utama (*major highways*)
- *Terminal Serviceability index* : $p_t = 2,0$
jalan lalu-lintas rendah
- *Total Loss of Serviceability* : $\Delta PSI = p_o - p_t$
-

e) **Modulus Reaksi Tanah Dasar**

Suryawan (2009: 31) *Modulus of subgrade reaction* (k) menggunakan gabungan dari formula dan grafik untuk menentukan modulus reaksi tanah dasar berdasarkan ketentuan CBR tanah dasar. Setelah didapatkan nilai CBR rerata, maka *Modulus of Subgrade reaction* (k) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$k = \frac{M_R}{19,4}$$

$$M_R = 1.500 \times \text{CBR}$$

Dengan definisi sebagai berikut:

$$M_R = \text{Resilient Modulus}$$

Untuk menentukan Faktor *loss of Support* (LS) mengacu pada **Tabel 2.10** (AASHTO 1993)

Tabel 2.10 Faktor *Loss of Support*

o.	N	Tipe Material	LS
1	.	<i>Cement Trated Granular Base (E = 1.000.000 - 2.000.000 psi)</i>	0 - 1
2	.	<i>Cement Aggregate Mixture (E = 500.000 - 1.000.000 psi)</i>	0 - 1
3	.	<i>Asphalt Treated Base (E = 350.000 - 1.000.000 psi)</i>	0 - 1
4	.	<i>Bituminous Stabilized Mixtures (E = 40.000 - 300.000 psi)</i>	0 - 1
5	.	<i>Lime Stabilized (E = 20.000 - 70.000 psi)</i>	1 - 3
6	.	<i>Unbound Granular Material (E = 15.000 - 45.000 psi)</i>	1 - 3
7	.	<i>Fine Grained/Natural Subgrade Materials (E = 3.000 - 40.000 psi)</i>	2 - 3

(Sumber : AASHTO 1993)

f) **Modulus Elastisitas Beton**

Suryawan (2009: 33) Modulus elastisitas beton ialah perbandingan antara tegangan dan regangan beton yang terjadi. Beton tidak mempunyai modulus elastisitas yang pasti. Mempunyai nilai yang bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, karakteristik beton, jenis pembebanan, dan juga perbandingan antara semen dan agregat. Pada perkerasan *rigid pavement* rumus yang digunakan untuk mendapatkan modulus elastisitas beton ialah sebagai berikut:

$$E_c = 57.000 \sqrt{f_c'}$$

Dengan definisi sebagai berikut:

E_c = Modulus elastisitas beton (psi).

f_c' = Kuat tekan beton, silinder (psi).

g) **Flexural Strength**

Suryawan (2009: 33) *Flexural Strength (modulus of rupture)* ditetapkan sesuai spesifikasi pekerjaan. *Flexural Strength* di Indonesia pada sekarang ini umumnya digunakan $Sc' = 45 \text{ kg/cm}^2$ atau sama dengan 640 psi.

h) **Koefisien Drainase (*Drainage Coefficient*)**

Suryawan (2009: 33) AASHTO memberikan 2(dua) variabel untuk menentukan berapa nilai koefisien drainase:

- Variabel pertama : mutu drainase, dengan variasi *excellent, good, fair, poor, very poor*. Mutu ini didapatkan oleh berapa lama air dapat dibebaskan dari pondasi perkerasan. Penetapan variabel pertama mengacu pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11 *Quality of drainage*

Kualitas Drainase	Tingkat Penyerapan Air
<i>Excelent</i>	2 jam
<i>Good</i>	1 hari
<i>Fair</i>	1 minggu
<i>Poor</i>	1 bulan
<i>Very poor</i>	Air tidak terbebaskan

(Sumber: AASHTO 1993)

- Variabel kedua : persentasi struktur perkerasan dalam satu tahun terkena air sampai tingkat mendekati dengan jenuh air (*saturated*), dengan variasi < 1 %, 1 – 5 %, 5 – 25 %, > 25 %. Untuk mendapatkan nilai variabel dari keduanya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{heff} = \frac{T_{jam}}{24} \times \frac{T_{hari}}{365} \times W_L \times 100$$

Dimana definisi sebagai berikut :

P_{heff} = Presentase hari efektif hujan dalam setahun (%).

T_{jam} = Rata-rata hujan per hari (jam).

T_{hari} = Rata-rata jumlah hari hujan per tahun (hari).

W_L = Faktor air hujan yang akan masuk ke pondasi jalan (%).

Selanjutnya koefisien drainase ditampilkan pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2.12 Koefisien drainase

Percent of time pavement structure is exposed to moisture levels approaching saturation

<i>Quality of drainage</i>	<i>< 1%</i>	<i>1 - 5%</i>	<i>5 - 25%</i>	<i>> 25%</i>
<i>Exelent</i>	1,25 1,20	- 1,20 - 1,15	1,15 1,10	- 1,10
<i>Good</i>	1,20 1,15	- 1,15 - 1,10	1,10 1,00	- 1,00
<i>Fair</i>	1,15 1,10	- 1,10 - 1,00	1,00 0,90	- 0,90
<i>Poor</i>	1,10 1,00	- 1,00 - 0,90	0,90 0,80	- 0,80
<i>Very poor</i>	1,00 0,90	- 0,90 - 0,80	0,80 0,70	- 0,70

(Sumber: AASHTO 1993)

Penetapan parameter koefisien drainase sebagai berikut :

- Berdasarkan kualitas drainase
- Kondisi *time pavement structure* dalam setahun.

i) **Penyaluran Beban (*Load Transfer*)**

Suryawan (2009: 36) Koefisien Penyaluran Beban (*Load transfer coefficient*) (J) dapat diperoleh dengan menggunakan **Tabel 2.13** yang mengacu pada AASHTO 1993.

Tabel 2.13 Koefisien Penyaluran Beban

Bahu	Aspal		Tied PCC	
Penyaluran beban	Ya	Tidak	Ya	Tidak
Jenis perkerasan				
Beton bersambung tak bertulang dan bertulang	3,2 4,4	3,8 -	2,5 - 3,1 4,2	3,6 -
CRCP	2,9 - 3,2	N/A	2,3 - 2,9	N/A

(Sumber: AASHTO 1993)

Pendekatan penetapan parameter *load transfer* :

- *Joint* dengan *dowel* : $J = 2,5 - 3,1$
- Untuk *Overlay design* : $J = 2,2 - 2,6$

j) Perhitungan Tebal Perkerasan

Dalam merencanakan tebal perkerasan beton, perlu menentukan kombinasi yang paling optimum/maksimum atau ekonomis dari tebal pelat beton dan lapis pondasi bawah. Penentuan tebal perkerasan beton dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot p_i) \times \log_{10} \frac{S'_c \cdot C_d \times \left[D^{0,75} - 1,132 \right]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c : k)^{0,25}} \right]}$$

Dimana definisi sebagai berikut:

W18 = Lalu-lintas rencana, *traffic design (ESAL)*

ZR = Standar normal deviasi

- S_0 = Standar deviasi.
 D = Tebal pelat beton (inches).
 ΔPSI = *Serviceability loss* $\Delta PSI = P_o - P_t$
 P_o = *Initial serviceability*.
 P_t = *Terminal serviceability index*.
 Sc' = *Modulus of rupture* sesuai spesifikasi pekerjaan (psi).
 C_d = *Drainage Coefficient*.
 J = *Load Transfer coefficient*.
 E_c = Modulus elastisitas (psi).
 k = Modulus reaksi tanah dasar (pci).

k) **Dowel dan Tie bar**

a) **Dowel**

Suryawan (2009: 43) *Dowel* ialah batang baja tulangan polos (maupun profil), yang dipergunakan sebagai sarana untuk menyalurkan beban pada sambungan. Untuk menentukan panjang, diameter dan jarak untuk pemasangan *dowel* dapat digunakan **Tabel 2.14**. Sedangkan untuk menentukan *dowel* dapat juga diperoleh menggunakan persamaan seperti berikut :

$$d = \frac{D}{8}$$

Dimana :

d = diameter *dowel*/ ruji

D = Tebal pelat beton

Tebal Perkerasan (in)	Diameter Dowel (in)	Panjang Dowel (in)	Jarak Dowel (in)
6	$\frac{3}{4}$	18	12
7	1	18	12
8	1	18	12
9	$1 \frac{1}{4}$	18	12
10	$1 \frac{1}{4}$	18	12
11	$1 \frac{1}{4}$	18	12
12	$1 \frac{1}{4}$	18	12

Tabel 2.14 Ketentuan Dimensi dan Jarak Pemasangan *Dowel*

(Sumber : AASHTO 1993)

b) ***Tie bar***

Suryawan (2009: 42) *Tie Bar* dirancang untuk memegang plat sehingga teguh/kaku, dan dirancang untuk menahan gaya-gaya tarik maksimum. Akan tetapi *Tie Bar* tidak dirancang untuk memindahkan beban. Cara perhitungan *tie bar* menggunakan **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Ketentuan Dimensi dan Jarak Pemasangan *Tie Bar*

		Diameter batang ½ in				
Jenis dan mutu baja	Tegangan kerja (psi)	Tebal Perkerasan (in)	Panjang (in)	Jarak maximum (in)		
				Lebar lajur 10 ft	Lebar lajur 11 ft	Lebar lajur 12 ft
Grade 40	30.000	6	25	48	48	48
		7	25	48	48	48
		8	25	48	44	40
		9	25	48	40	38
		10	25	48	38	32
		11	25	35	32	29
		12	25	32	29	26

(Sumber : AASHTO 1993)

2.8 Rencana Anggaran Biaya

Istimawan (1996: 15) anggaran biaya disusun secara realistis , bertahap waktu, dengan berorientasi pada keluaran-keluaran atau kegiatan proyek. Analisa anggaran biaya bukan hanya dibuat berdasarkan daftar rencana kegiatan dan pada saat perencanaan proyek saja. Akan tetapi ditunjang dengan suatu system akuntansi yang benar dan baik selama proyek berjalan.

Kontraktor akan membuat estimasi dengan tujuan untuk kegiatan penawaran terhadap suatu proyek konstruksi pada saat pelelangan atau tender. Rumus dasar untuk perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) ialah sebagai berikut:

$$RAB = \Sigma (\text{volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan})$$

2.8.1 Komponen Rencana Anggaran Biaya

Sebelum mulai menghitung atau merencanakan anggaran untuk suatu proyek, harus terlebih dahulu menghitung setiap komponen yang dimiliki pada rencana anggaran yang mencakup:

a) Volume Pekerjaan

Kuantitas pekerjaan dapat diperoleh dengan mengukur setiap objek dalam gambar (dengan mempertimbangkan skala) ataupun langsung pada objek aktual di lapangan, maka metode rata-rata luas penampang digunakan untuk mengasumsikan sisi-sisi lapangan ruang diukur dalam garis lurus. Satuan ialah simbol yang mewakili kuantitas yang diukur, cara pengukuran dan karakteristik objek yang diukur. Jika satuan angka pengukuran tidak disertai dengan satuan pengukuran, tidak ada artinya, sehingga volume setiap pekerjaan yang dihitung harus memiliki unit yang jelas karena akan mempengaruhi perhitungan biaya pelaksanaan.

Volume pekerjaan yang dihitung akan sangat mempengaruhi jumlah biaya yang akan digunakan untuk menyelesaikan volume dari item tersebut.

b) Analisis Harga Satuan Dasar (HSD)

Komponen untuk menyusun harga satuan pekerjaan (HSP) membutuhkan tenaga kerja, HSD alat, HSD bahan. Berikut ini diberikan langkah-langkah untuk menghitung HSD komponen HSP (Kementrian Pekerjaan Umum, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga, 2013).

1) Harga Satuan Tenaga Kerja

Untuk menghitung harga satuan pekerjaan, maka perlu ditetapkan dahulu bahan rujukan harga standar untuk upah yang digunakan sebagai HSD tenaga kerja.

Langkah perhitungan HSD tenaga kerja ialah sebagai berikut:

- a) Tentukan jenis tenaga kerja, misal pekerja (P), tukang (T_k), mandor (M), dan kepala tukang (KT).
- b) Kumpulkan data upah yang sesuai dengan peraturan daerah setempat, data upah hasil survai di tempat yang berdekatan dan berlaku untuk daerah tempat lokasi pekerjaan akan dilakukan.
- c) Perhitungkan tenaga kerja yang diambil dari luar daerah maka memperhtungkan biaya makan, menginap dan transport.
- d) Tentukan jumlah hari efektif pekerjaan selama satu bulan dikurangi dengan tanggal merah (24 - 26 hari), dan jumlah jam efektif dalam satu hari (7 jam).
- e) Hitung biaya upah dari masing-masing orang per jam.
- f) Rerata dari seluruh biaya upah per jam sebagai upah rerata per jam.
- g) Nilai rerata biaya upah minimum harus setara dengan Upah Minimum Regional (UMR) dari daerah setempat (Kementrian Pekerjaan Umum, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga, 2013).

2) Harga Satuan Alat

Analisis HSD alat membutuhkan data upah operator, spesifikasi dari alat meliputi kapasitas kerja alat (m^3), tenaga mesin, umur ekonomis alat, jam kerja alat dalam satu tahun dan harga alat. Faktor lainnya ialah komponen investasi alat

yang meliputi asuransi alat, suku bunga bank, faktor alat yang spesifik seperti *bucket* untuk *excavator*, harga perolehan alat, dan *loader* dan lain-lain (Kementrian Pekerjaan Umum, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga, 2013).

Penggunaan peralatan pada proyek-proyek konstruksi didorong oleh adanya tuntutan spesifikasi proyek dan teknologi konstruksi, juga dapat menghasilkan nilai tambah pada pelaksanaan proyek yang menyangkut mutu dari pada pelaksanaan.

Biaya alat bisa dibedakan menjadi beberapa bagian, seperti:

- Biaya operasi (biaya variabel).
- Biaya produksi
- Biaya alat.
- Biaya tetap.

(Kementrian Pekerjaan Umum, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga, 2013)

3) Harga Satuan Bahan

Analisisa HSD bahan membutuhkan data harga bahan baku, serta biaya transportasi dan biaya produksi untuk bahan baku menjadi bahan olahan atau bahan jadi. Produksi material membutuhkan alat yang mungkin lebih dari satu alat. Setiap alat dihitung berapa kapasitas produksinya dalam satuan pengukuran per jam, dengan memasukkan data kapasitas alat, faktor efisiensi alat, faktor lain, dan waktu setiap siklus. Perhitungan HSD bahan yang diambil dari penggalian dapat dari dua jenis, yaitu dalam bentuk bahan baku (batu kali /gunung, pasir sungai/gunung dll.), Dan dalam bentuk bahan olahan (misalnya agregat kasar dan halus yang dihasilkan oleh mesin penghancur batu dll.). (Kementrian Pekerjaan Umum, Analisis Harga Satuan Kerja (AHSP) di Bidang Jalan Raya, 2013).